

**PENGARUH VARIASI BENTUK DAN DIAMETER *TUBE SETTLER* TERHADAP
EFISIENSI PENYISIHAN TSS PADA REAKTOR SEDIMENTASI
*RECTANGULAR***

Alivia Dewanty Maharani^{*)}, Wiharyanto Oktiawan^{)}, Badrus Zaman^{**)}**

Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Jl. Prof. H. Soedarto, S.H Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

email : aliviadmaharani@gmail.com

Abstrak

Waduk berfungsi sebagai penyimpanan air pada musim penghujan dapat dimanfaatkan sebagai sumber air pada musim kemarau. Pada prosesnya air waduk harus melalui pengolahan untuk dapat dikonsumsi karena didalam air tersebut terkandung angkutan sedimen total yang terdiri atas partikel-partikel tersuspensi (*Total Suspended Solid*) yang menyebabkan kekeruhan pada badan air, sehingga dalam penurunan *Total Suspended Solid* tersebut diperlukan bak pengendap sedimentasi. Pemakaian tube settler dalam proses sedimentasi merupakan salah satu alternatif untuk lebih meningkatkan efisiensi penyisihan TSS dalam air bersih. Dalam penelitian ini digunakan tube settler dengan berbagai variasi bentuk dan diameter tube settler yang bertujuan untuk menganalisis bentuk dan diameter tube settler yang optimum untuk menyisihkan TSS pada reaktor sedimentasi. Berdasarkan kriteria desain, variasi bentuk yang dipakai adalah circular tubes, square tubes dan hexagonal tubes. Sedangkan variasi diameter tube settler yang dipakai 0,05 m ; 0,065 m ; 0,08 m dan 0,095 m. Dari penelitian ini, didapatkan nilai efisiensi penyisihan optimal terdapat pada tube settler dengan bentuk hexagonal dengan diameter tube settler 0,05 m, dengan nilai efisiensi penyisihan TSS sebesar 42% yang diikuti dengan penyisihan kekeruhan dengan nilai 34%. Selain bentuk dan diameter tube settler ada beberapa faktor yang ikut mempengaruhi seperti overflow rate, *NRe* dan *NFr*.

Kata kunci: sedimentasi, tube settler, TSS, kekeruhan, overflow rate, *NRe*, *NFr*

Abstract

[Effect of Diameter and Shape Variation of Tube Settler to TSS Removal Efficiency on Rectangular Sedimentation Reactor]. Reservoir as a storage of excess water from the rainy season can be used as a source of water in the dry season. The water in reservoir must go through a water treatment process before consumed because this water contains *Total Suspended Solids (TSS)* that cause turbidity in water bodies. Therefore, a sedimentation basin is needed to remove TSS from water. The use of tube settlers in sedimentation process is one of the alternatives to improve TSS removal efficiency in clean water. This study used tube settlers with various shapes (circular tubes, square tubes and hexagonal tubes) and diameter (0.05 m; 0.065 m; 0.08 m and 0.095 m) to analyze the optimum shape and diameter in removing TSS. The conclusion from this research is hexagonal shape with 0.05 m diameter can remove 42% TSS and 34% turbidity from the water. Besides shapes and diameter of tube settler, overflow rate, *NRe* and *Nfr* also influence TSS removal efficiency from water.

Keywords: sedimentation, tube settler, *Total Suspended Solid*, overflow rate, *NRe*, *NFr*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Air bersih adalah air yang memenuhi persyaratan bagi sistem penyediaan air minum. Adapun persyaratan yang dimaksud adalah persyaratan dari segi kualitas air yang meliputi kualitas fisik, kimia, biologis dan radiologis, sehingga jika dikonsumsi tidak menimbulkan efek samping (Permenkes No. 416/ Menkes/ PER/ IX/ 1990).

Pengambilan air secara terus menerus dari sungai tidak selalu bisa memenuhi kebutuhan air bagi pemakainya pada saat musim kemarau. Maka dari itu waduk dimanfaatkan sumber airnya selama musim kemarau. Sebelum dikonsumsi air waduk harus melalui proses pengolahan terlebih dahulu. Hal tersebut dikarenakan dalam air terkandung angkutan sedimen total yang terdiri atas material diskrit seperti kerikil, pasir, koloid, dan partikel-partikel tersuspensi (*total suspended solid*) yang menyebabkan kekeruhan pada badan air, sehingga dalam penurunan *total suspended solid* tersebut diperlukan bak pengendap sedimentasi (Husaeni *et al.* 2013).

Menurut Asmadidan Suharno (2012), sedimentasi adalah unit operasi yang didesain untuk mengumpulkan dan memindahkan padatan tersuspensi dari air limbah dengan cara gravitasi. Kondisi pengendapan partikel dipengaruhi oleh kondisi performa yang optimal dengan aliran laminar. Sehingga dapat menyisihkan 65-70% *total suspended solid* (Hadi, 2000). Untuk lebih meningkatkan efisiensi pengendapan pada bak sedimentasi konvensional umumnya dengan memperbesar dimensi suatu bak. Mengingat keterbatasan lahan yang ada, maka dilakukan cara lain dalam memaksimalkan efisiensi pengendapan pada bak sedimentasi yaitu, penambahan alat yang dipasang yaitu *Tube Settler*.

Dalam penelitian Novirina (2001), membuktikan bahwa kemampuan unit sedimentasi dapat bertambah jika menggunakan *tube settler*. Pada penelitian tersebut dijelaskan bahwa

semakin kecil ukuran diameter dari *tube settler* akan memperluas bidang pengendapan yang baik. Kriteria desain untuk diameter *tube* adalah 0,05-0,08 meter (Davis, 2010). Faktor lain yang berpengaruh pada kinerja penyisihan menggunakan *tube* adalah bentuk *tube settler*. Jenis dari *tube settler* sendiri terdapat dari *square tubes*, *circular tubes*, *rectangular tubes*, *hexagonal*, *rectangular layers alternating direction* dan *chevron* (Crittenden *et al.*, 2012). Menurut Degremont (1991), *tube* dengan bentuk *hexagonal* memiliki kemampuan untuk menyisihkan TSS lebih baik dibandingkan bentuk lainnya. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan kajian mendalam mengenai bentuk *tube settler* maupun diameter *tube settler* pada bangunan sedimentasi yang benar – benar ideal dalam menurunkan *total suspended solid* sehingga dapat diaplikasikan pada Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM).

Tujuan Penelitian

1. Menganalisis pengaruh bentuk *tube settler* dan diameter *tube settler* terhadap efisiensi penyisihan TSS unit sedimentasi *rectangular*.
2. Menganalisis bentuk *tube settler* dan diameter *tube settler* yang optimal untuk menyisihkan TSS pada reaktor sedimentasi *rectangular*.

STUDI PUSTAKA

Kekeruhan

Kekeruhan disebabkan oleh adanya bahan organik dan anorganik yang tersuspensi dan terlarut, maupun bahan organik dan anorganik yang berupa plankton dan mikroorganisme. Kekeruhan dinyatakan dalam satuan unit turbiditas (Effendi, 2003).

Kekeruhan dalam air minum atau air bersih tidak boleh lebih dari 5 NTU (Kepmenkes RI No. 907, 2002). Penurunan kekeruhan ini sangat diperlukan karena selain ditinjau dari segi estetika yang kurang baik juga proses desinfeksi untuk air keruh sangat sukar, hal ini disebabkan karena penyerapan beberapa koloid dapat melindungi organisme dari desinfektan (Joko, 2010).

Total Suspended Solids (TSS)

Padatan tersuspensi total (TSS) adalah bahan – bahan tersuspensi (diameter > 1 μm) yang tertahan pada saringan milipore dengan pori – pori 0,45 μm . TSS terdiri atas lumpur dan pasir halus serta jasad – jasad renik, terutama disebabkan oleh kikisan tanah atau erosi tanah yang terbawa ke badan air (Effendi, 2003).

Padatan tersuspensi total dapat meningkatkan nilai kekeruhan sehingga akan mempengaruhi penetrasi cahaya matahari ke kolom air dan akhirnya berpengaruh terhadap proses fotosintesis oleh fitoplankton dan tumbuhan air yang selanjutnya mengurangi pasokan oksigen terlarut dan meningkatkan pasokan CO_2 di perairan (Trofisa, 2011).

Proses Koagulasi-flokulasi

Koagulasi adalah proses dimana ion – ion dengan muatan yang berlawanan dengan muatan koloid dimasukan ke dalam air sehingga mengakibatkan ketidakstabilan koloid. Dengan kata lain, koagulasi adalah proses pembentukan koloid yang stabil menjadi tidak stabil (Reynolds, 1982).

Sedangkan flokulasi adalah penggumpalan koloid yang telah mengalami koagulasi membentuk bahan padat (flok) yang selanjutnya bergabung menjadi makroflok yang mudah diendapkan, atau flokulasi adalah transportasi koloid yang sudah tidak stabil sehingga menyebabkan kontak antar partikel (Reynolds, 1982).

Proses Sedimentasi

Sedimentasi adalah unit operasi yang didesain untuk mengumpulkan dan memindahkan padatan terzusensi dari air limbah dengan cara gravitasi. Di banyak kasus, tujuan utama adalah untuk menghasilkan effluen yang jernih, tetapi ini juga penting untuk menghasilkan lumpur dengan konsentrasi padatan yang dapat mempermudah penanganan dan pengolahan (Asmadi dan Suharno, 2012).

Kondisi performa pengendapan partikel dipengaruhi oleh kondisi aliran apakah laminar ataupun turbulen. Untuk mencapai kondisi performa yang optimal maka diusahakan aliran laminar, yaitu didekati dengan bilangan Reynold < 500 dan bilangan Froude > 10^{-5} (Asmadi dan Suharno, 2012).

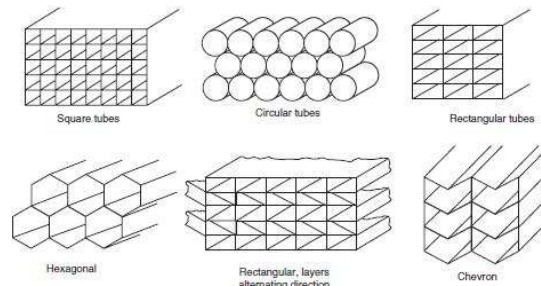
Bak Sedimentasi dengan Tube Settler

Untuk meningkatkan efisiensi penyisihan parikel dapat dilakukan dengan menambah luasan pengendapan pada bak sedimentasi. Namun hal tersebut tidak selalu

sejalan dengan ketersediaan lahan. Meningkatkan nilai *overflow rate* pada bak sedimentasi tanpa harus menambah luasan bidang pengendapan dapat dilakukan dengan menambahkan *tube settler*. Hal tersebut dikarenakan padatan yang ada di dalam air akan tertempel pada bagian *tube* atau *plate settler* (Crittenden et al., 2012).

Bentuk Tube Settler

Bentuk dari tube settler terdiri dari *square tubes*, *circular tubes*, *rectangular tubes*, *hexagonal tubes*, *rectangular layers alternating direction* dan *chevron tubes*. Berdasarkan analisis terhadap bentuk *tube settler* terdapat perbedaan efisiensi dari berbagai bentuk terhadap penyisihan padatan. *Tube settler hexagonal* dan *chevron* memiliki efisiensi lebih baik dalam menyisihkan padatan dikarenakan padatan dapat menempel pada bagian yang membentuk siku atau sudut (Crittenden et al., 2012).



Gambar 2.1 Jenis Bentuk Tube Settler

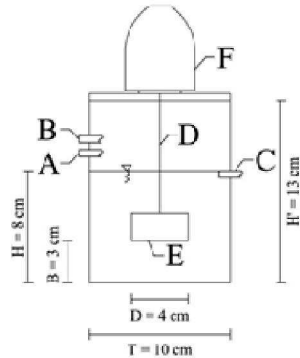
Sumber : Crittenden et al., 2012

METODOLOGI PENELITIAN

Jenis penelitian ini bersifat metode eksperimental. Metode eksperimental terdiri dari beberapa tahapan yaitu uji karakteristik air waduk, persiapan alat dan bahan, teknik pengumpulan data, uji pendahuluan, dan uji analisis TSS dilakukan secara kontinyu melalui tahap koagulasi-flokulasi sebagai *pretreatment* awal lalu diteruskan dengan bak sedimentasi *rectangular*. Penelitian ini menggunakan air Waduk Pendidikan Diponegoro, Kota Semarang, Jawa Tengah sebagai air baku.

Variabel bebas dalam penelitian ini antara lain bentuk *tube settler* (*circular tubes*, *hexagonal tubes*, *square tubes*) dan diameter *tube settler* (0,05 m ; 0,065 m; 0,08 m dan 0,095 m) (Davis, 2010). Variabel terikatnya yaitu efisiensi penyisihan TSS (*Total Suspended Solid*). Sedangkan variabel kontrol pada penelitian ini adalah, debit pengolahan 10

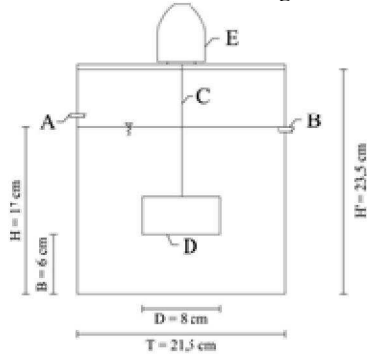
ml/detik, waktu detensi reaktor koagulasi (1 menit), flokulasi (10 menit), dan sedimentasi (78 menit), kemiringan *tube settler* yaitu 60° , ketinggian *tube settler* 20 cm, dan debit koagulan yaitu 0,06 mL/detik.



Keterangan :

A : Inlet reaktor
B : Inlet dari bak koagulan
C : outlet reaktor
D : Shaft
E : Paddle
F : Dinamo

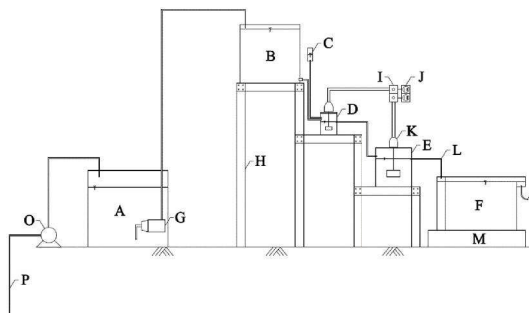
Gambar 2 Reaktor Koagulasi



Keterangan :

A : Inlet reaktor
B : Inlet dari bak koagulan
C : outlet reaktor
D : Shaft
E : Paddle
F : Dinamo

Gambar 3 Reaktor Flokulasi



Gambar 4 Skema Rangkaian Reaktor Sedimentasi

Keterangan :

a. Reservoir Air Baku 60 L

- b. TAR 25 L
- c. Bak Kogulan Kapasitas 1,5 L
- d. Reaktor Kogulasi 0,6 L
- e. Reaktor Flokulasi 8 L
- f. Reaktor Sedimentasi 46,7 L
- g. Pompa Aquarium
- h. Penyangga Reaktor
- i. Dimmer
- j. Sumber Listrik

Data hasil pengujian dan perhitungan dianalisis secara kuantitatif dengan bantuan software Microsoft Excel untuk mengetahui hubungan variasi bentuk *tube settler* dan variasi diameter *tube settler* pada reaktor sedimentasi *rectangular* terhadap efisiensi penyisihan TSS, kemudian disajikan menggunakan metode deskriptif dengan tabel, grafik, dan narasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Air Waduk

Tabel 1 Karakteristik Air Waduk Pendidikan Diponegoro

Parameter	Satuan	Konsentrasi Minimal	Konsentrasi Maksimal	Baku Mutu
TSS	mg/L	67	308	50 ⁽¹⁾
Kekeruhan	NTU	2,40	4,98	25 ⁽²⁾
Suhu	^0C	28,4	30,8	-
pH		7,28	7,98	6-9 ⁽²⁾

Keterangan :

Baku mutu mengacu pada (1) PP No. 82 Tahun 2001 kelas 1 ; (2) Permenkes No.416 Tahun 1990

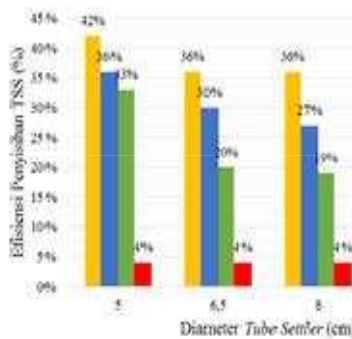
Dari hasil uji karakteristik air waduk dapat dilihat sebagian besar dari parameter-parameter air Waduk Diponegoro masih memenuhi standar baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air dan Permenkes No. 416 tentang Persyaratan Kualitas Air Bersih. Namun ada satu parameter yang melebihi baku mutu, yaitu TSS.

Konsentrasi TSS rata rata dalam air baku terukur sebesar 308 mg/L dan 67 mg/L, sedangkan baku mutu yang diizinkan adalah 50 mg/L. Hasil pengujian konsentrasi TSS yang melebihi baku mutu menjadi salah satu indikator yang menunjukkan adanya material diskrit, koloid maupun tersuspensi dalam konsentrasi tinggi didalam air Waduk Undip, sehingga kandungan TSS tersebut perlu diturunkan. Untuk

menurunkan konsentrasi TSS diperlukan unit pengolahan air. Salah satu pengolahan yang dapat dilakukan untuk menyisihkan TSS adalah unit sedimentasi dengan penambahan *tube settler*.

Hasil Uji Penyisihan TSS

Pada penelitian ini dilakukan uji bentuk *tube settler* dan diameter *tube settler* terhadap penyisihan TSS. Hasil uji konsentrasi TSS pada hari pertama hingga hari keempat dapat dilihat pada tabel 4.2 sebagai berikut:



Gambar 5 Efisiensi Penyisihan TSS

Berdasarkan gambar 5 dapat dilihat data peningkatan efisiensi penyisihan TSS dengan menggunakan *tube settler*. Pada percobaan hari pertama dilakukan penyisihan TSS tanpa menggunakan *tube settler* sebagai kontrol, didapat efisiensi penyisihan TSS sebesar 4% (inlet 67 mg/l; 64 mg/l).

Pengujian tanpa *tube settler* memiliki nilai efisiensi yang rendah, oleh karena itu dilakukan penambahan *tube settler* untuk meningkatkan nilai efisiensinya. Nilai efisiensi maksimal didapat oleh *tube settler hexagonal* dengan nilai penyisihan 42% (inlet 214 mg/L; outlet 125 mg/L). Sedangkan efisiensi minimal didapat oleh bentuk *circular* dengan nilai efisiensi sebesar 33 % (inlet 36 mg/l ; 24 mg/l).

Pada gambar 5 juga dapat dilihat berbagai nilai efisiensi penyisihan TSS dari diameter *tube settler* yang berbeda. Semakin kecil diameter *tube settler* maka efisiensi penyisihan akan semakin meningkat. Efisiensi tertinggi didapat pada proses penyisihan *tube settler* dengan diameter 5 cm sebesar 42%, 36% dan 33%. Nilai tertinggi selanjutnya didapat oleh *tube settler* dengan diameter 6,5 cm yang menunjukkan efisiensi sebesar 36%, 30% dan 20%. Lalu, diameter *tube settler* 8 cm dengan nilai efisiensi sebesar 36%; 27% dan 19% dan

yang terakhir adalah ukuran 9,5 cm dengan nilai efisiensi sebesar 23%; 21%; dan 11%.

Peningkatan nilai efisiensi penyisihan TSS dikarenakan *tube settler* yang berbentuk *hexagonal* memiliki ruang pada sudut-sudut samping *tube* yang dapat menahan partikel agar tidak terbawa aliran permukaan menuju outlet sedimentasi dan memperkecil jarak atau waktu yang dibutuhkan partikel untuk mengendap. Hal ini sesuai dengan pendapat Crittenden *et al.*, (2012). Peningkatan nilai efisiensi selain disebabkan oleh bentuk dan diameter *tube settler* juga disebabkan oleh nilai *overflow rate* (vo) atau kecepatan aliran kritis yang semakin kecil akibat mengecilnya diameter *tube settler*.

Untuk meninjau nilai *overflow rate* dengan diameter *tube settler* dapat dilihat pada tabel 2 berikut ini,

Tabel 2 Hasil Perhitungan Nilai *Overflow Rate*

Diameter Tube settler (m)	Panjang Tube Settler (m)	Overflow rate (vo) (m/detik)
0,05	0,2	$3,18 \times 10^{-5}$
0,065		$3,78 \times 10^{-5}$
0,08		$4,3 \times 10^{-5}$
0,095		$4,74 \times 10^{-5}$

Dari tabel 2 yang merupakan perhitungan nilai *overflow rate* secara teoritis didapat nilai *overflow rate* dengan diameter *tube settler* 5 - 9,5 cm berturut-turut adalah $3,18 \times 10^{-5}$; $3,78 \times 10^{-5}$; $4,3 \times 10^{-5}$; $4,74 \times 10^{-5}$. Berdasarkan hasil uji di lapangan dan perhitungan secara teoritis didapat bahwa efisiensi penyisihan TSS akan meningkat disaat nilai *overflow rate* semakin kecil dikarenakan ukuran diameter yang lebih kecil sehingga luas bidang penahan partikel bertambah dan flok-flok yang terbentuk mudah jatuh pada lintasan *tube settler*.

Ukuran diameter *tube settler* Ukuran diameter *tube settler* akan menambah jumlah *tube* yang ada di dalam bak dan memperluas bidang pengendapan partikel. Pada penelitian ini tidak ditetapkan jumlah *tube settler* sebagai variabel kontrol, dengan tidak ditetapkannya jumlah *tube settler* menyebabkan jumlah *tube settler* pada setiap bentuk dan diameter *tube settler* berbeda-beda.

Meskipun nilai diameternya sama namun jumlah *tube* yang terbentuk pada bak sedimentasi tidak sama dengan jumlah *tube settler*. *Tube settler hexagonal* memiliki jumlah *tube* yang lebih banyak jika dibandingkan dengan *square* dan *circular*. Contohnya *tube settler* berbentuk *hexagonal* dengan diameter 5 cm memiliki

jumlah 40 *tube* sebagai jumlah *tube* tertinggi. Sedangkan bentuk *square* dan *circular* pada diameter yang sama menghasilkan 36 *tube* dalam satu bak sedimentasi. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya ukuran diameter *tube settler* akan menambah jumlah *tube* yang ada dalam bak dan memperluas bidang pengendapan partikel sehingga nilai *overflow ratenya* akan semakin kecil.

Karakteristik aliran fluida pada bak sedimentasi juga mempengaruhi efisiensi penyisihan TSS. Aliran fluida sendiri dipengaruhi oleh bilangan reynold dan froud. Kedua bilangan tersebut adalah indikator penting yang menandakan karakteristik aliran yang terjadi dalam bak sedimentasi.

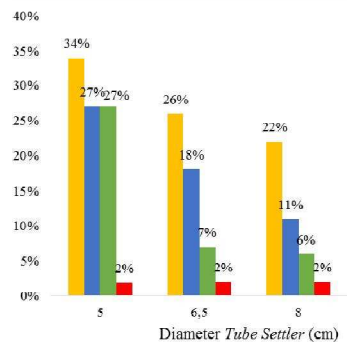
Bilangan NRe dan NFr merupakan salah satu faktor penting dalam pengolahan air pada penelitian ini, karena berkaitan dengan karakteristik aliran yang terjadi. Aliran air pada zona *inlet* dan *outlet* sedimentasi harus berada pada kondisi laminar, hal tersebut dimaksudkan untuk mencegah flok yang sudah terbentuk pada proses koagulasi-flokulasi tidak pecah kembali dan proses pengendapan flok dapat berjalan secara merata pada seluruh zona pengendapan. Aliran dikatakan laminar apabila nilai bilangan Nrenya <2000 (Kawamura, 2000).

Bilangan NFrsecaratidaklangsungdapat pula menurunkan efisiensi pengendapan. Pada penelitian ini nilai NFr yang sangat kecil menandakan aliran air pada reaktor sedimentasi tidak hanya didominasi aliran horizontal namun memungkinkan terjadinya *backmixing* (Crittenden *et al.*, 2012). *Backmixing* sendiri akan mengganggu proses pengendapan partikel, karena dapat merubah secara acak lintasan pengendapan partikel dan membuat partikel yang seharusnya mengendap menjadi tidak terendapkan dan terbawa ke zona *outlet* sedimentasi. Hal tersebut karena lintasan pengendapan partikel akan berubah secara acak. Oleh karena itu aliran lintasan pendek (NFr) dilapangan harus dikondisikan agar dapat memenuhi standar yang ditetapkan sebesar $>10^{-5}$ (Kawamura, 2000).

Hasil Uji Penyisihan Kekeruhan

Kekeruhan merupakan salah satu parameter penting dalam proses pengolahan air bersih maupun air minum. Kekeruhan dapat disebabkan oleh adanya koloid dalam air. Hasil efisiensi penyisihan kekeruhan menggunakan

tube settler pada bak sedimentasi dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6 Efisiensi Penyisihan Kekeruhan

Jika melihat grafik data pada gambar 5 maka seharusnya apabila konsentrasi TSS rendah maka nilai kekeruhan akan relatif rendah, dengan kata lain efisiensi penyisihan TSS dan kekeruhan meningkat (Saeni, 1989)

Pada gambar 6 didapat nilai efisiensi pada kontrol sebesar 2% (*inlet* 2,40 NTU; *outlet* 2,35 NTU). Efisiensi maksimal terdapat pada penyisihan kekeruhan dengan *tube settler hexagonal* berdiameter 5 cm sebesar 34% (*inlet* 3,62 NTU ; *outlet* 2,38 NTU). Sedangkan efisiensi terendah terdapat pada bentuk *circular* 3% (*inlet* 2,33 NTU; 2,26 NTU) dan *square* 3% (*inlet* 4,85 NTU; *outlet* 4,72 NTU) pada diameter *tube settler* 9,5 cm.

Untuk keseluruhan efisiensi penyisihan dengan *tube settler* memiliki nilai yang lebih tinggi dibanding kontrol, dengan kata lain penggunaan *tube settler* memiliki pengaruh untuk menyisihkan kekeruhan. Selain karena penurunan TSS, hal lain yang dapat berpengaruh adalah jarak jatuh yang dihasilkan juga pendek, sehingga flok-flok yang terbentuk mudah jatuh pada lintasan pipa *tube settler*.

Hasil Pengukuran Derajat Keasaman (pH)

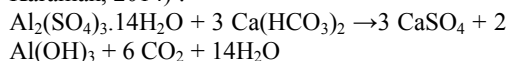
Tabel 3 Hasil pengukuran pH

Bentuk <i>Tube Settler</i>	Diameter <i>Tube Settler</i> (cm)	Nilai pH	
		Inlet	Outlet
Tanpa <i>Tube Settler</i>		7,71	7,43
Hexagonal	5	7,4	7,22
	6,5	7,57	7,55
	8	7,91	7,44
	9,5	7,96	7,43
Rectangular	5	7,59	7,54
	6,5	7,98	7,72
	8	7,81	7,73
	9,5	7,85	7,83
Circular	5	7,28	7,13
	6,5	7,77	7,32
	8	7,54	7,41
	9,5	7,38	6,84

Pada tabel 3 dapat dilihat hasil pengukuran pH pada *inlet* dan *outlet* reaktor penelitian. Secara keseluruhan untuk semua bentuk dan ukuran *tube settler* menunjukkan nilai pH yang fluktuatif, namun keseluruhan nilai pH pada *outlet* mengalami penurunan dari titik *inlet*. Hal ini disebabkan karena adanya penambahan koagulan pada proses pengolahan di reaktor koagulasi sehingga air dan koagulan akan bereaksi menghasilkan asam (Indriyanti, 2008 dalam husaeni *et al.*, 2013).

Derajat keasaman sendiri dapat mempengaruhi kelarutan dari suatu koagulan. Koagulan yang digunakan pada penelitian ini adalah tawas atau alumunium hidroksida $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ dengan nilai kelarutan pada rentang pH 5,5-6,5 (Karamah, 2014).

Pada proses pengadukan cepat, koagulan $Al_2(SO_4)_3$ segera bereaksi dengan *natural alkalinity* yang terdapat dalam air yaitu $Ca(HCO_3)_2$ untuk membentuk ion aquometalik $Al(OH)_3$ atau dengan nama lain flok, seperti pada persamaan dibawah ini (Peavy *et al.*, 1985 dalam Karamah, 2014) :



Hasil Pengukuran Suhu

Tabel 4 Hasil Pengukuran Suhu

Bentuk Tube Settler	Diameter Tube Settler (cm)	Suhu	
		Inlet (°C)	Outlet (°C)
Tanpa Tube Settler		29,8	29,6
Hexagonal	5	28,6	28,4
	6,5	30,3	29,8
	8	30,8	30,7
	9,5	30,6	30,5
Rectangular	5	29,9	28,8
	6,5	29,7	29,6
	8	29,9	29,5
	9,5	29,6	29,5
Circular	5	30,2	30,1
	6,5	31,8	30,5
	8	32,1	30,7
	9,5	30,8	28,5

Dari tabel 4 dapat dilihat bahwa pada semua bentuk dan diameter *tube settler* yang berbeda terjadi penurunan suhu pada titik *outlet* jika dibandingkan dengan *inlet* reaktor. Penurunan suhu terjadi karena terdapat perbedaan waktu analisis sampel titik *inlet* dan titik *outlet*. Perbedaan waktu tersebut menyebabkan mekanisme penyesuaian suhu sampel dengan suhu ruangan saat itu. Suhu merupakan faktor yang perlu diperhatikan dalam proses koagulasi dan flokulasi, karena semakin rendah suhu akan mempengaruhi pembentukan flok pada proses flokulasi (Al-Layla, 1998 dalam Rosariawari dan Mirwan, 2013).

Kenaikan suhu dapat menyebabkan kenaikan viskositas cairan (Effendi, 2003). Viskositas cairan baik dinamik maupun kinematis akan berpengaruh terhadap nilai bilangan reynolds (NRe). Pada pembahasan sebelumnya, bak sedimentasi dengan *tube settler* harus memiliki karakteristik aliran air laminar atau $NRe < 50$ (Kawamura, 1991). Hubungan antara nilai viskositas dengan bilangan reynolds adalah berbanding terbalik, dengan kata lain penambahan nilai viskositas besar menyebabkan penurunan bilangan reynolds. Oleh karena itu perlu mengkondisikan nilai viskositas cairan dengan kata lain menjaga suhu agar stabil.

Perbedaan suhu yang terlalu besar pada bak sedimentasi perlu diminimalisir (Crittenden *et al.*, 2012), agar tidak terjadi aliran pendek atau *short circuiting* (Montgomery, 1985). Aliran pendek terjadi karena air dengan suhu yang lebih hangat pada zona sedimentasi menyebabkan padatan atau flok naik ke permukaan air dan

langsung menuju *outlet*. Aliran pendek atau *short circuiting* akan menimbulkan daerah atau zona sedimentasi tidak terdapat lintasan partikel yang mengendap (Tchobanoglous *et al.*, 2003), sehingga menyebabkan penurunan efisiensi penyisihan TSS maupun kekeruhan (Crittenden *et al.*, 2012).

Penentuan Bentuk dan Diameter Tube Settler Optimal

Dalam merencanakan suatu unit pengolahan ada beberapa aspek yang perlu diperhatikan. Salah satu faktor terpenting dalam proses pelaksanaannya adalah teknis dan biaya.. Aspek teknis yang dilihat pada penelitian ini adalah pemenuhan terhadap standar *influent* yang akan masuk ke unit filtrasi. Sedangkan aspek biaya dihitung berdasarkan luas permukaan *tube settler* pada reaktor sedimentasi.

Tabel 5 Penentuan Efisiensi Tube Settler Optimal

Bentuk Tube Settler	Diameter (cm)	Jumlah Tube Settler	Kekeruhan di Effluent Sedimentasi	Aspek Biaya
Hexagonal	5	40	X	7000
	6,5	27	X	4000
	8	21	X	3000
	9,5	15	X	2200
Circular	5	36	X	6300
	6,5	21	X	3600
	8	18	X	3200
	9,5	8	X	1400
Rectangular	5	36	X	6300
	6,5	21	X	3600
	8	18	X	3200
	9,5	8	X	1400

Pada tabel 5 diatas dapat dilihat bahwa hasil *effluent* reaktor sedimentasi tidak ada yang memenuhi standar nilai kekeruhan yang masuk ke filtrasi. Seperti yang telah dijelaskan pada subbab 4.3 bahwa penambahan *tube settler* dapat menurunkan nilai kekeruhan pada *outlet*. Nilai efisiensi maksimal terdapat pada *tube settler hexagonal* berdiameter 5 cm sebesar 34% (*inlet* 3,62 NTU ; *outlet* 2,38 NTU). Jika dibandingkan dengan standar nilai kekeruhan yang masuk ke filtrasi nilai tersebut masih belum memenuhi standar. Berdasarkan penjelesan sebelumnya dapat dilihat bahwa penambahan *tube settler* dapat menyisihkan konsentrasi kekeruhan pada air waduk, dengan nilai efisiensi terbaik sebesar 34% namun nilai tersebut belum dapat meningkatkan nilai efisiensi kekeruhan secara optimal.

Sehingga pada penelitian ini hanya bisa didapat nilai efisiensi penyisihan maksimal namun belum bisa didapatkan bentuk dan diameter yang optimal untuk meyisihakn TSS dan kekeruhan.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penambahan *tube settler* pada reaktor sedimentasi dapat meningkatkan efisiensi penyisihan TSS jika dibandingkan reaktor sedimentasi konvensional dengan nilai efisiensi tertinggi penyisihan TSS sebesar 42%. Nilai efisiensi tersebut cukup tinggi jika dibandingkan dengan kontrol yang efisiensi penyisihannya hanya sebesar 4%.
2. Bentuk dan diameter *tube settler* yang optimal dalam menyisihkan TSS pada reaktor sedimentasi *rectangular* dalam penelitian ini tidak bisa didapatkan. Hal tersebut dikarenakan untuk menentukan bentuk dan diameter optimal harus melihat dari aspek teknis dan biaya. Secara teknis hanya didapatkan nilai efisiensi penyisihan kekeruhan maksimal sebesar 34% (*inlet* 3,62 NTU ; *outlet* 2,38 NTU) pada *tube settler hexagonal* dengan diameter 5 cm. Nilai kekeruhan tersebut masih melebihi standart *influent* kekeruhan pada filtrasi sebesar 2 NTU. Sehingga variasi bentuk dan diameter yang digunakan pada penelitian ini hanya menghasilkan nilai maksimal namun belum dapat ditentukan bentuk dan diameter yang optimal

SARAN

Saran yang dapat diberikan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Melakukan penelitian ini dengan pengolahan lanjutan yaitu filtrasi setelah reaktor sedimentasi untuk dapat menahan air yang masih mengandung padatan tersuspensi sehingga hasil keluaran air pada unit filtrasi dapat memberikan nilai efisiensi penyisihan TSS yang optimal dan memenuhi baku mutu PP No. 82 Tahun 2001 kelas 1 dan Permenkes No.416 Tahun 1990.
2. Melakukan penelitian ini pada dua musim yaitu musim kemarau dan musim penghujan karena proses runing reaktor dalam penelitian ini dilakukan pada saat cuaca cerah (tidak terjadi hujan) sehingga

kinerja tube settler tidak bisa mewakili keadaan pada dua musim.

3. Melakukan studi lanjutan untuk memastikan aliran air pada reaktor sedimentasi tidak terjadi backmixing, sehingga proses pengendapan partikel tidak terganggu yang menyebabkan partikel tidak terendap dan terbawa ke zona sedimentasi.

DAFTAR PUSTAKA

- AsmadidanSuharno. 2012. *Dasar-DasarTeknologiPengolahan Air Limbah*. Yogyakarta: Gosyen Publishing.
- Balwan, Kshitija.; Mujawar, Aarju.; Bhabuje, Dhanashri.; Karake, Manisha. 2014. *Study of the effect and inclination of tube settler on the effluent quality*. International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJIRAE). Volume 3, 2016.
- Crittenden, C.; R, Rhodes Trussell.; David, W.; Hand, Kerry, Howe.; dan Tchobanoglous, George. 2012. *MHW's Water Treatment : Principle and Design Third Edition*. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey.
- Darmasetiawan, Martin. 2001. *Teori dan Perencanaan Instalasi Pengolahan Air*. Bandung : Yayasan Suryono.
- Davis, Mackenzie L. 2010. *Water And WasteWater Engineering Design Principles and Practice*. The McGraw-Hill Companies, Inc. New York.
- Degremont. 1991. *Water Treatment Handbook* (Vol. 1). New York: John Wiley and Sons Inc.
- Effendi, Hefni. 2003. *TelaahKualitasAir :BagiPengelolaanSumber Air danLingkunganPerairan*. Yogyakarta :Kanisus.
- Faraji, A.; Asadollafardi, G.; dan Shevidi, A. 2013. *A pilot study for the application of one-and two-stage tube settlers as a secondary clarifier for wastewater treatment*. International Journal Of Civil Engineering. Volume 11, 2013.
- Hadi, Wahyono.2000. *Perencanaan Bangunan Pengolahan Air Minum*. Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya. Surabaya. Halaman 66.
- Hendrasarie; Novririna; dan Titien, setiyo.2001. *Tube Settler Sebagai Alternatif Penyisihan Kekeruhan Pada Proses Sedimentasi*. Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya. Surabaya. Volume 3, 2000.
- Husaeni, Nurul.; H, Euis Nurul.; Hendrianto, Okik. 2013. *Penurunan Konsentrasi Total Suspended Solid Pada Proses Air Bersih Menggunakan Plate Settler*. Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur. Surabaya. Volume 4, 2013.
- Joko, Tri. 2010. *Unit ProduksidalamSistemPenyediaan Air Minum*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Karamah, E.; danSeptiyanto, A. 2014. *PengaruhSuhudan Tingkat Keasaman (pH) padaTahapPralakuanKoagulasi (KoagulanAlumuniumSulfat) dalam Proses Pengolahan Air MenggunakanMembranMikrofiltrasiPol ipropilen Hollow Fiber*. DepartemenTeknik Gas danPetrokimia, FakultasTeknikUniversitas Indonesia. Volume 4, 2014.
- Kawamura, Susumu. 2000. *Intergreted Design of Water Treatment Facilities*. A wiley Interscience Publication. Japan.
- Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 907 /MENKES/SK/VII/2002 Tentang Syarat-syarat dan pengawasan Kualitas Air Minum.
- Mirwan, M dan Rosariawari F. 2013. *Efektifitas Pac Dan Tawas untuk Menurunkan Kekeruhan pada Air Permukaan*. Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur. Surabaya. Volume 5, 2013.
- Mega, P dan Wahyono, H. 2014. *Efektifitas Al2(SO4)3 dan FeCl3 dalam Pengolahan Air Menggunakan Gravel Bed Flocculator Ditinjau Dari Parameter Kekeruhan dan Total Coli*. ISSN: 2337-3539. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi

- Sepuluh Nopember. Surabaya. Volume 3, 2014.
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 416/Menkes/PER/IX/1990 Tentang Syarat-Syarat dan Pengawasan Kualitas Air.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 16 Tahun 2005 Tentang Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum.
- Patriasani, Edwin; dan Karnaningroem, Nieke. 2012. *Uji Kinerja Media Batu Pada Bak Prasedimentasi. Jurusan Teknik Lingkungan*. ISBN : 978-602-97491-5-1. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya
- Reynolds, Tom D. 1982. *Unit Operation and Process in Environmental Engineering*. Wadsworth Inc. California.
- Risdianto, Dian. 2007. *Optimasi Proses Koagulasi Flokulasi Untuk Pengolahan Air Limbah Industri Jamu (Studi Kasus PT. Sido Muncul)*. Progam Pasca Sarjana Universitas Diponegoro. Semarang.
- Sarparastzadeh, H.; Saeedi, M.; Naeimpoor, F.; dan Aminzadeh, B. 2007. *Pretreatment of municipal wastewater by enhanced chemical coagulation*. International Journal of Environmental Research, University of Tehran. Volume 1, No.2, 2007.
- Sudiarti, Retno. 2009. *Pengolahan Limbah Cair Percetakan dengan Penambahan Koagulan Tawas dan $FeCl_3$, serta Penjerapan oleh Zeolit*. Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Pertanian Bogor.
- Trofisa, Dany. 2011. *Kajian beban pencemaran dan Air pencemaran sungai Ciliwung di segmen Kota Bogor*.
- Teng, S. T. 2000. *Gambaran Umum Penanganan Limbah*. Jakarta: PT Nusantara Water Center.
- Wardani, R. S.; Iswanto, B.; dan Winarni, W. 2010. *Pengaruh pH pada Proses Koagulasi dengan Koagulan Aluminium Sulfat dan Ferri Klorida*. Jurnal Teknologi Lingkungan Universitas Trisakti. Vol 5, No 2, 2010.
- Widigdo, B. 2001. *Manajemen Sumber Perairan*. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor.
- Yulianti, Suci. 2006. *Proses Koagulasi-Flokulasi Pada Pengolahan Tersier Limbah Cair PT Capsugel Indonesia*. Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor.